

**В.В. СЕДАЧ**, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЦИКЛОВОГО ПНЕВМОПРИВОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Наведені результати теоретичних і експериментальних досліджень циклового пневмопривода. Уточнена математична модель дозволила враховувати хвилеподібні процеси зміни тисків у порожнинах циліндра. Апробована оригінальна методика експериментального дослідження динаміки привода із застосуванням відеозйомки й наступною обробкою інформації відеофайлів спеціальними програмами для побудови графіків перехідних процесів по переміщенню, швидкості й прискоренню вихідної ланки.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований циклового пневмопривода. Уточненная математическая модель разрешила учитывать волнообразные процессы изменения давлений в пустотах цилиндра. Апробирована оригинальная методика экспериментального исследования динамики привода с применением видеосъемки и следующей обработкой информации видеофайлов специальными программами для построения графиков переходных процессов по перемещению, скорости и ускорению исходного звена.

Results theoretical and experimental researches of a typical pneumodrive are resulted. The specified mathematical model has allowed to consider wavy processes of change of pressure in cylinder cavities. The original technique of an experimental research of dynamics of a drive with application of a video shooting and the subsequent processing of the information of video files by special programs for construction of schedules of transients on moving, speed and acceleration of a target link is approved.

**Введение.** Для автоматизации целого ряда технологических операций в современном производстве широко применяется цикловой пневмопривод. Он обычно используется для перемещения предметов обработки с массой не более 10 кг [1, 2] и имеет следующие преимущества: несложную конструкцию, возможность достаточно простыми способами получать и регулировать высокие скорости рабочих и холостых рабочих ходов выходного звена, отсутствие трубопроводов для отвода отработанной рабочей среды. Благодаря этим преимуществам в большинстве конструкций промышленных роботов (ПР) отечественного и зарубежного производства также используются цикловые пневмоприводы [3 – 5].

Экспериментально-теоретические исследования приводов исполнительных механизмов сложного современного оборудования, в том числе и ПР, являются одним из необходимых этапов при решении задачи создания их рациональной конструкции. При этом одним из важнейших показателей, определяющих эффективность применения ПР в заданном технологическом цикле, является его быстродействие.

**Анализ литературных источников и постановка задачи.** Достоверный расчет пневмопривода на практике является достаточно сложной задачей. В прошлом веке Институтом машиноведения

им. А.А. Благонравова были разработаны регулярные методы расчета цикловых пневматических приводов, которые позволяют осуществлять как динамический анализ (определение закона движения, времени рабочего цикла и времени торможения рабочего органа), так и динамический синтез (выбор параметров привода для выполнения заданного закона движения) [6, 7]. Однако разработанные методики являются инженерными, не в полной мере учитывают все сложные физические процессы, происходящие при работе пневмопривода, и поэтому не всегда удовлетворяют поставленным задачам. Например, при разработке пневмоприводов для ПР к ним предъявляют очень жесткие требования, обусловленные специфическими условиями работы: необходимость обеспечения максимальной скорости движения выходного звена при минимальном времени цикла и плавной остановке в конце хода [8].

Кроме этого, проведение поверочных расчетов предполагает решение системы дифференциальных нелинейных уравнений четвертого порядка с помощью численных методов интегрирования. Однако, выполнение трудоемких расчетов при отсутствии точных значений параметров пропускных способностей рабочей и выхлопной магистралей, а также величины силы сопротивления, не всегда целесообразно ввиду очевидности получения лишь приблизительных результатов.

Таким образом, разработка наиболее рациональных конструктивных решений наиболее эффективна и достоверна лишь на базе результатов экспериментально-теоретических исследований.

### **Экспериментальные исследования циклового пневмопривода.**

Исследования типового циклового пневмопривода проводились в лаборатории «FESTO-ГПА» НТУ «ХПИ» при атмосферном давлении 750 мм. рт. ст. и температуре окружающей среды 16°C. Принципиальная пневматическая схема экспериментального стенда, реализованного на серийной аппаратной базе фирмы FESTO, приведена на рисунке 1. В стенде использовано следующее пневмооборудование: 4/2 распределитель 3 с двухсторонним пневматическим управлением Serie 977 Тип JP-4-1/8, 4/3-распределители 2, 4, 5 с ручным управлением и фиксации нейтрального положения Serie W6 Type 2123 HSO-4/3-1/8, две калиброванные дроссельные шайбы 6, 9, два регулируемых дросселя 7, 8 с обратным клапаном Serie 1086 Тип GR-1/8, и исследуемый пневмоцилиндр 10 двухстороннего действия Type DGW-32 Serie 977 R со следующими параметрами: диаметр поршня  $D_{II} = 25$  мм, диаметр штока  $d_{III} = 14$  мм, рабочий ход поршня  $s = 100$  мм. Питание стенда сжатым воздухом обеспечивала компрессорная установка 1 на базе винтового компрессора типа JUN-AIR с номинальным давлением питания 0,8 МПа и расходом 50 л/мин. На штоке цилиндра установлена платформа для инерционной нагрузки, а также специальный визир, скользящий вдоль

делений измерительной линейки. Давление питания в ходе экспериментов составляло 0,3 МПа, привод мог быть нагружен инерционной нагрузкой от 1,0 до 4,0 кг.

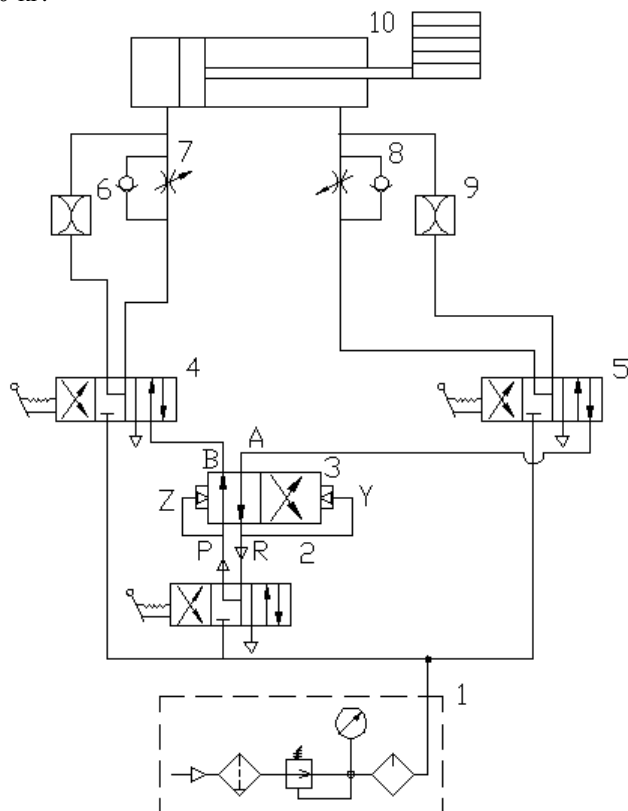


Рисунок 1 – Принципиальная пневматическая схема экспериментального стенда

Экспериментальные исследования проводились в три этапа.

**На первом этапе** выполнялась сборка стенда, проверялась работоспособность отдельных его элементов и схемы в целом, проводилась юстировка видеокамеры по захвату и углу проведения съемки, выбирались уровень давления питания и грузы для моделирования инерционной нагрузки.

**На втором этапе** определялись основные динамические характеристики пневмопривода. Для этого в отдельных ответвлениях питающей и выхлопной магистралей через распределители 4, 5 вместо стандартных элементов 7, 8 подключались калиброванные дроссели с проходными сечениями 0,65 мм и 0,54 мм соответственно с целью проведения

эталонного по отношению к разработанной математической модели эксперимента. Инерционная нагрузка на поршне при этом составляла 1,0 кг.

Для фиксации процесса перемещения поршня использовалась видеокамера модели SONY DCR-DVD 106E. Затем полученные данные обрабатывались на компьютере с помощью программы просмотра видеоизображения Mediastudio Pro 8,0, позволяющей осуществлять пошаговый просмотр видеофайлов с дискретностью по времени 0,033 с. Этого вполне достаточно, чтобы выявить качественную картину переходного процесса по перемещению поршня. Типовая кривая такого процесса на рис. 2.

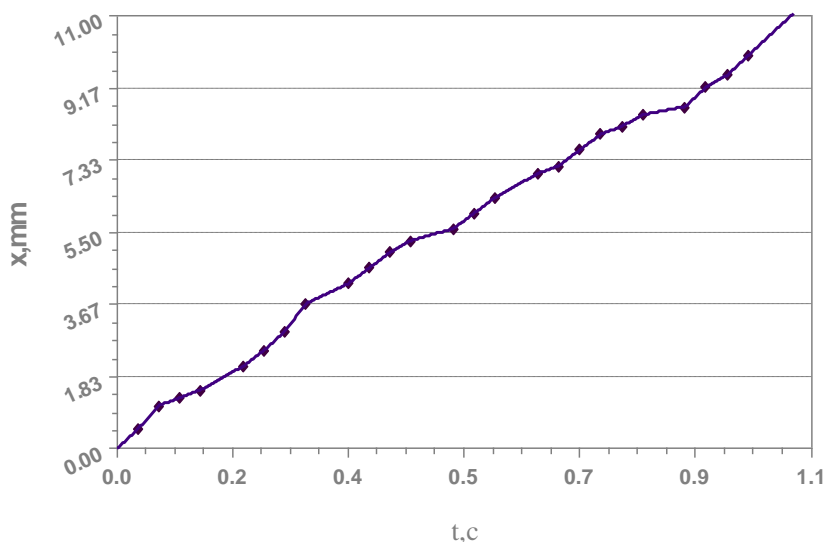


Рисунок 2 – Типовая экспериментальная зависимость  $x = f(t)$  перемещения выходного звена пневмоцилиндра

Дальнейшая обработка полученных на этом этапе экспериментальных данных предусматривает использование аппроксимирующих программ, например Curve Expert Version 1.34, для получения полинома  $n$ -ной степени, с достаточной степенью точности аналитически описывающего полученную кривую переходного процесса. Последующее дифференцирование данного полинома позволяет определить вид кривых скорости и ускорения движения штока. Так, кривая перемещения на рис. 3 с точностью 0,9989 описывается полиномом четвертого порядка

$$x = a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4, \quad (1)$$

где  $a = 0,1402$ ,  $b = 10,1220$ ,  $c = 7,5266$ ,  $d = -16,5055$ ,  $e = 8,7042$ .

Скорость и ускорение поршня с точностью 0.9971 и 0.9660 соответственно описываются следующими полиномами четвертого порядка:

$$v = a_1 + b_1 t + c_1 t^2 + d_1 t^3 + e_1 t^4, \quad (2)$$

где  $a_1 = 10,1053$ ,  $b_1 = 15,6055$ ,  $c_1 = -49,7258$ ,  $d_1 = 40,7453$ ,  $e_1 = -3,2796$ ;

$$u = a_2 + b_2 t + c_2 t^2 + d_2 t^3 + e_2 t^4, \quad (3)$$

где  $a_2 = 9,2991$ ,  $b_2 = -15,5446$ ,  $c_2 = -146,5280$ ,  $d_2 = 291,8844$ ,  $e_2 = -115,6818$ .

Результирующие графики переходных процессов, полученные после окончательной обработки экспериментальных данных, приведены на рис. 3.

**На третьем этапе** исследовалось влияние инерционной нагрузки на скорость и характер перемещения штока цилиндра. Эксперимент проводился по стандартной схеме подключения полостей цилиндра 10 к управляющему распределителю через дроссели 7, 8 с обратными клапанами. Скорость перемещения поршня регулировалась путем дросселирования выхлопной магистрали.

Установлено, что при начальном увеличении нагрузки быстроедействие цилиндра практически не меняется, что согласуется с результатами математического моделирования. Однако при значительном увеличении нагрузки время срабатывания цилиндра резко уменьшается, так как движение поршня приобретает скачкообразный характер. Физика этого явления, связана со сжимаемостью рабочего тела и может объясняться следующим. При достаточно большой нагрузке на штоке давление воздуха в рабочей полости повышается до тех пор, пока полезное усилие на поршне не преодолест силы трения. Затем происходит «срыв поршня» и его некоторое ускоренное перемещение с одновременным значительным увеличением объема рабочей полости и, соответственно, резким падением давления воздуха в ней. Тогда поршень замедляет свое движение до очередного набора давления в рабочей полости до необходимой величины. Другими словами, при большой нагрузке после набора необходимого давления в рабочей полости поршень «выстреливает» [9]. При этом следует отметить и существенное увеличение времени подготовительного периода срабатывания пневмопривода, которое может достигать 1,0 с.

**Математическое моделирование.** При разработке математической модели использовались хорошо апробированные регулярные методы расчета типового пневмопривода [6, 7], основанные на уравнении движения поршня, дополненном уравнениями изменения давлений в рабочей и выхлопной полостях цилиндра. Моделирование системы уравнений проводилось в пакете MathCAD при соответствующих начальных и граничных условиях. Отличительной особенностью разработанной программы является

возможность, благодаря применению метода Адамса, точного учета влияния проводимости питающей и выхлопной магистрали на характер изменения давлений в полостях цилиндра.

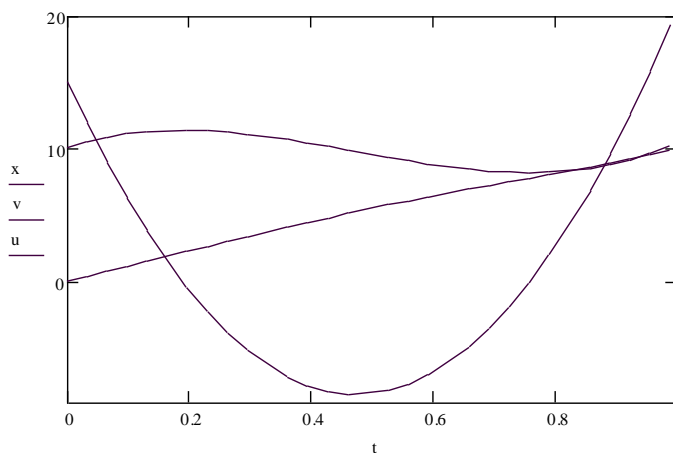


Рисунок 3 – Экспериментально-расчетные переходные процессы при движении выходного звена пневмоцилиндра

**Выводы.** Разработана программа математического моделирования на ЭВМ переходных процессов в типовом цикловом пневматическом приводе, обеспечивающая хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных, особенно при больших инерционных нагрузках. Разработан и апробирован метод исследования динамики выходного звена пневмопривода с применением видеосъемки. Достаточная информативность получаемых результатов позволяет изучать на качественном уровне динамические свойства различных машин и оборудования без использования сложной измерительной техники, в том числе и в полевых условиях

**Список литературы:** 1. Устройство промышленных роботов. / Е.И. Юревич, Б.Г. Аветиков, и др. – Л.: Машиностроение, 1980. 2. Промышленные роботы: конструирование управление, эксплуатация / Костюк В. И., Гавриш А. П. и др. – К.: Вища шк. 1985. 3. Белянин П.Н. Промышленные роботы. Машиностроение- 1975. 4. Белянин П.Н. Промышленные роботы и их применение. М.: Машиностроение, 1983. 5. Промышленная роботехника / Под ред. Я.А. Шифрина – М.:Машиностроение, 1982. 6. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник / Под ред. Е.В.Герц. – М.: Машиностроение, 1982. 7. Динамика пневматических систем машин / Под ред. Е.В.Герц – М.: Машиностроение, 1985. 8. Белянин П.Н. Роботехнические системы для машиностроения. М.: Машиностроение, 1986. 9. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков / Под ред.В.А. Федорца. – К.: Вища шк., 1987.

Надійшла до редколегії 06.08.2010